

## METHOD FOR GROWING III-V NITRIDE SEMICONDUCTOR AND VAPOR GROWTH DEVICE

Publication number: JP2001077038 (A)

Publication date: 2001-03-23

Inventor(s): HIROTA TATSU; TATSUMI MASAMI

Applicant(s): SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES

**Classification:**

- international: C30B25/02; C30B29/38; H01L21/205; H01L33/00; C30B25/02; C30B29/10; H01L21/02; H01L33/00; (IPC1-7): H01L21/205; C30B25/02; C30B29/38; H01L33/00

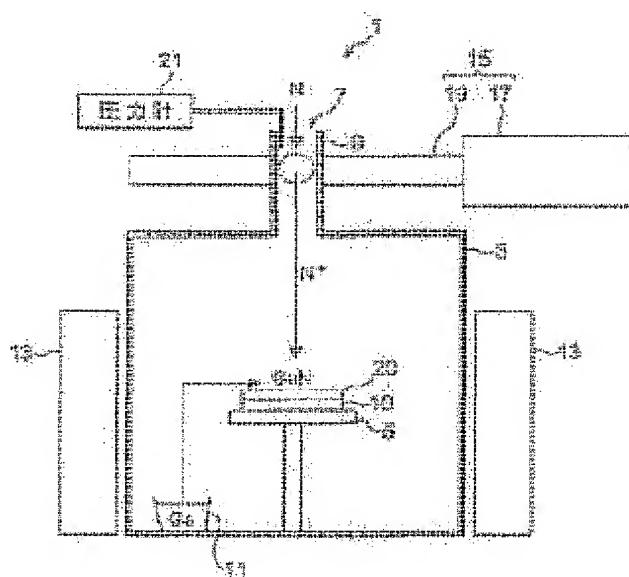
### \*\* European:

Application number: JP20000157036 20000526

Priority number(s): JP20000157036 20000526; JP19990186012 19990630

Abstract of JP 2001077038 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the yield of the raw material of a III-V nitride semiconductor and to make faster the growing speed of the semiconductor. **SOLUTION:** In a vapor growth device 1 which grows a III-V nitride semiconductor (GaN), a container 11 which houses a group III element is arranged. The device 1 is also provided with a reaction chamber 3 having an introducing port 7 through which nitrogen is introduced, an exciting means 15 which excites the nitrogen introduced through the port 7 with plasma, and a heating means 13 which heats a seed crystal 10 and the container 11 both of which are set up in the reaction chamber 3. At the time of growing the III-V nitride semiconductor on the seed crystal 10, the nitrogen is introduced through the introducing port 7 and the gas in the chamber 3 is not discharged to the outside.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database — Worldwide

**Family list**

7 application(s) for: JP2001077038 (A)

**1 GROUP III-V NITRIDE SEMICONDUCTOR GROWTH METHOD AND VAPOR PHASE GROWTH APPARATUS**

Inventor: HIROTA RYU [JP] ; TATSUMI MASAMI [JP]      Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES [JP]

EC: C30B25/10B      IPC: H01L21/20; C30B25/10; H01L21/02; (+2)

Publication info: CA2313155 (A1) — 2000-12-30  
CA2313155 (C) — 2003-09-30**2 Growth method of III-IV nitride semiconductors and gas phase growth apparatus**

Inventor: SHIGEMI KOTA [JP] ; MASAMI TATSUMI [JP]      Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES [JP]

EC: C30B25/10B      IPC: H01L21/20; C30B25/10; H01L21/02; (+2)

Publication info: CN1279504 (A) — 2001-01-10  
CN1129956 (C) — 2003-12-03**3 Group III-V nitride semiconductor growth method and vapor phase growth apparatus**

Inventor: HIROTA RYU [JP] ; TATSUMI MASAMI [JP]      Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES [JP]

EC: C30B25/10B      IPC: H01L21/20; C30B25/10; H01L21/02; (+3)

Publication info: EP1065299 (A2) — 2001-01-03  
EP1065299 (A3) — 2006-02-15**4 METHOD FOR GROWING III-V NITRIDE SEMICONDUCTOR AND VAPOR GROWTH DEVICE**

Inventor: HIROTA TATSU ; TATSUMI MASAMI      Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES

EC:      IPC: C30B25/02; C30B29/38; H01L21/205; (+9)

Publication info: JP2001077038 (A) — 2001-03-23

**5 GROUP III-V NITRIDE SEMICONDUCTOR GROWTH METHOD AND VAPOR PHASE GROWTH APPARATUS**

Inventor: HIROTA RYU ; TATSUMI MASAMI      Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES

EC: C30B25/10B      IPC: H01L21/20; C30B25/10; H01L21/02; (+2)

Publication info: KR20010007580 (A) — 2001-01-26

**6 Growth method of III-IV nitride semiconductors and gas phase growth apparatus**

Inventor: HIROTA RYU [JP] ; TATSUMI MASAMI [JP]      Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES [JP]

EC: C30B25/10B      IPC: H01L21/20; C30B25/10; H01L21/02; (+2)

Publication info: TW486744 (B) — 2002-05-11

**7 Group III-V nitride semiconductor growth method and vapor phase growth apparatus**

Inventor: HIROTA RYU [JP] ; TATSUMI MASAMI [JP]      Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES [JP]

EC: C30B25/10B      IPC: H01L21/20; C30B25/10; H01L21/02; (+2)

Publication info: US6475277 (B1) — 2002-11-05

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-77038

(P2001-77038A)

(43)公開日 平成13年3月23日 (2001.3.23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 01 L 21/205  
C 30 B 25/02  
29/38  
H 01 L 33/00

識別記号

F I  
H 01 L 21/205  
C 30 B 25/02  
29/38  
H 01 L 33/00

テマコト<sup>\*</sup> (参考)  
4 G 0 7 7  
P 5 F 0 4 1  
D 5 F 0 4 5  
C

審査請求 未請求 請求項の数11 O.L. (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2000-157036(P2000-157036)  
(22)出願日 平成12年5月26日 (2000.5.26)  
(31)優先権主張番号 特願平11-186012  
(32)優先日 平成11年6月30日 (1999.6.30)  
(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000002130  
住友電気工業株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
(72)発明者 弘田 龍  
大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号  
住友電気工業株式会社大阪製作所内  
(72)発明者 龍見 雅美  
大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号  
住友電気工業株式会社大阪製作所内  
(74)代理人 100088155  
弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

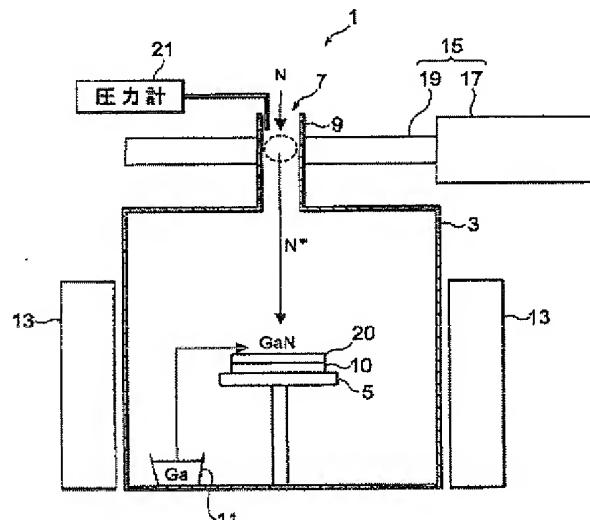
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 III-V族窒化物半導体の成長方法および気相成長装置

(57)【要約】

【課題】 原料収率が高く、成長速度の速いIII-V族窒化物半導体の成長方法および気相成長装置を提供すること。

【解決手段】 III-V族窒化物半導体 (GaN) を成長させる気相成長装置 1 であって、III族元素を収容する収容容器 11 が内部に配置されるとともに、窒素が導入される導入口 7 を有する反応室 3 と、導入口 7 より導入された窒素をプラズマ励起する励起手段 15 と、反応室 3 に配される種結晶 10 および収容容器 11 を加熱する加熱手段 13 と、を備え、種結晶 10 上にIII-V族窒化物半導体を成長させる際に、導入口 7 より窒素が導入され、反応室 3 内の気体は、反応室 3 の外部に排出されない。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 反応室内に設けられた種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させるIII-V族窒化物半導体の成長方法であって、前記反応室内に連続的に導入される窒素をプラズマ励起するとともに前記反応室内に配置されたIII族元素を蒸発させ、前記プラズマ励起された窒素と前記蒸発させられたIII族元素とを反応させて前記種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させることを特徴とするIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項2】 二つの電極間に正負のパルス電圧を交互に印加することで、前記各電極間において前記窒素をプラズマ励起させることを特徴とする請求項1記載のIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項3】 反応室内に設けられた種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させるIII-V族窒化物半導体の成長方法であって、前記反応室内に連続的に導入される窒素をプラズマ励起によって前記反応室内の水素と反応させて窒素の水素化物を生成し、当該窒素の水素化物と前記反応室内で蒸発させられたIII族元素とを反応させて前記種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させた後、

前記III-V族窒化物半導体を成長させた際に生成された水素と、反応管内に連続的に導入される窒素と、をプラズマ励起によって反応させて窒素の水素化物を生成することを特徴とするIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項4】 二つの電極間に正負のパルス電圧を交互に印加することで、前記各電極間において前記窒素と前記水素とをプラズマ励起によって反応させることを特徴とする請求項3記載のIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項5】 反応室内に設けられた種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させるIII-V族窒化物半導体の成長方法であって、前記反応室内に配置されたIII族元素とハロゲン分子またはハロゲン化物とを反応させてIII族元素のハロゲン化物を生成し、当該III族元素のハロゲン化物とプラズマ励起させた窒素とを反応させて前記種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させた後、前記III-V族窒化物半導体を成長させた際に生成されたハロゲン分子またはハロゲン化物と、前記反応室内に配置されたIII族元素と、を反応させてIII族元素のハロゲン化物を生成することを特徴とするIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項6】 二つの電極間に正負のパルス電圧を交互に印加することで、前記各電極間において前記窒素をプラズマ励起させることを特徴とする請求項5記載のIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項7】 反応室内に設けられた種結晶上にIII-V

族窒化物半導体を成長させるIII-V族窒化物半導体の成長方法であって、

前記反応室内に導入される窒素と反応室内の水素とをプラズマ励起によって反応させて窒素の水素化物を生成するとともに前記反応室内に配置されたIII族元素とハロゲン分子またはハロゲン化物とを反応させてIII族元素のハロゲン化物を生成し、前記窒素の水素化物と前記III族元素のハロゲン化物とを反応させて前記種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させた後、

10 前記III-V族窒化物半導体を成長させた際に生成されたハロゲン分子またはハロゲン化物と前記反応室内に配置されたIII族元素とを反応させてIII族元素のハロゲン化物を生成するとともに、前記III-V族窒化物半導体を成長させた際に生成された水素と窒素とをプラズマ励起によって反応させて窒素の水素化物を生成することを特徴とするIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項8】 二つの電極間に正負のパルス電圧を交互に印加することで、前記各電極間において前記窒素と前記水素とをプラズマ励起によって反応させることを特徴とする請求項7記載のIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項9】 前記反応室内の全圧が略一定に保たれるよう、前記窒素を前記反応室内に導入することを特徴とする請求項1～請求項8のうち何れか一項記載のIII-V族窒化物半導体の成長方法。

【請求項10】 III-V族窒化物半導体を成長させる気相成長装置であって、III族元素を収容する収容容器が内部に配置されるとともに、窒素が導入される導入口を有する反応室と、前記導入口より導入された前記窒素をプラズマ励起する励起手段と、前記反応室内に配される種結晶および前記収容容器を加熱する加熱手段と、を備え、前記種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させる際に、前記導入口より窒素が導入され、前記反応室の気体は、反応室の外部に排出されないことを特徴とする気相成長装置。

40 【請求項11】 前記励起手段は、二つの電極と、当該各電極間に正負のパルス電圧を交互に印加する高周波電源と、を有することを特徴とする請求項10記載の気相成長装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化ガリウム(GaN)等のIII-V族窒化物半導体の成長方法および気相成長装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来から、GaNをはじめとするIII-V族窒化物半導体の成長方法として、たとえば特開平10

長法 (H V P E 法) や、特開昭61-179527号公報などに掲載された有機金属気相成長法 (OMVPE 法) が知られている。

【0003】ハイドライド気相成長法によって窒化ガリウム (GaN) を成長させる場合は、GaNを収容するポートが配置された反応室内に、①窒素 (N<sub>2</sub>) の原料ガスとしてのアンモニア (NH<sub>3</sub>) 、②ガリウム (Ga) の原料ガスとしての塩化ガリウム (GaCl) を生成するための塩化水素 (HCl) 、および、③キャリアガスとしての水素 (H<sub>2</sub>) を導入し続ける。そして、HClとGaNとの反応によって生成されたGaNClとNH<sub>3</sub>とが反応することで、種結晶上に窒化ガリウム (GaN) が成長する。この方法によれば、反応室内に原料ガスを多量に供給し続けることが可能であるため、原料ガスを外部より供給しないいわゆる閉管法を用いた場合と比較して、反応速度の向上を図ることができる。

【0004】有機金属気相成長法によって窒化ガリウム (GaN) を成長させる場合は、反応室内に、①原料ガスとしてトリメチルガリウム (TMG) 等の有機金属、②アンモニア (NH<sub>3</sub>) を導入するとともに、キャリアガスとして水素または窒素を導入する。そして、TMGとNH<sub>3</sub>とが反応することで、種結晶上に窒化ガリウム (GaN) が成長する。この方法によれば、原料をすべてガスの形で反応室内に導入できるため、ハイドライド気相成長法と比較して、膜厚の精密な制御を行うことができる。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述した従来のハイドライド気相成長法や有機金属気相成長法には、次のような問題があった。すなわち、ハイドライド気相成長法および有機金属気相成長法によってGaN等のII I-V族化合物半導体を成長させる場合、III-V族化合物半導体の成分でない塩素や水素がHCl、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>等として反応室内に滞ってしまうため、これらを排出口より反応室の外部へ排出する必要があった。すなわち、ハイドライド気相成長法および有機金属気相成長法には、いわゆる閉管法が適用されているのである。このため、原料の大半が成長に寄与せずに捨てられることになり、原料収率が悪いという問題があった。また、大量のHCl、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>等を捨てるには、大規模の除害設備が必要となり、コスト高を招くことになる。つまり、これらの方法は、低成本の単結晶作製には適さないのである。

【0006】一方、いわゆる閉管法によれば、外部に副生成物などを排出しないため、原料収率は、ハイドライド気相成長法や有機金属気相成長法と比較して低くはない。ところが、近年、III-V族化合物半導体の製造分野においては、成長速度を向上させることが要請されているが、外部から原料ガスを供給しない閉管法では、原料ガスの輸送料が少ないため、成長速度の向上は望めない。

い。

【0007】本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、原料収率が高く、成長速度の速いIII-V族窒化物半導体の成長方法および気相成長装置を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、反応室内に設けられた種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させるIII-V族窒化物半導体の成長方法であって、反応室内に連続的に導入される窒素をプラズマ励起するとともに反応室内に配置されたIII族元素を蒸発させ、プラズマ励起された窒素と蒸発させられたIII族元素とを反応させて種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させることを特徴とする。

【0009】請求項1記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、反応室内に導入された窒素 (N<sub>2</sub>) を励起してプラズマ状態にする一方、反応室内で、たとえばガリウム (Ga) などのIII族 (3B族) 元素を蒸発させる。そして、プラズマ励起された窒素と蒸発されたIII族元素とを反応させることで、種結晶上にたとえば窒化ガリウム (GaN) などのIII-V族窒化物半導体を成長させることができる。ここで、本発明では、窒素はプラズマ状態に励起されているため、原子同士の結合力が大きい窒素分子の状態にあるときよりもIII族元素と反応し易くされており、さらに、閉管法を採用した場合と異なり反応室に窒素を逐次導入することができるため、III-V族窒化物半導体の成長速度を高めることができる。また、本発明においてIII-V族窒化物半導体を成長させるために用いられるのはIII族元素および窒素だけであり、このIII族元素および窒素はすべてIII-V族窒化物半導体の成長に寄与する。すなわち、III-V族窒化物半導体の成長時に副生成物が発生せず、反応室の気体を外部に排出する必要がなくなり、原料収率の向上を図ることができる。

【0010】請求項2記載の発明は、請求項1記載のII I-V族窒化物半導体の成長方法において、二つの電極間に正負のパルス電圧を交互に印加することで、各電極間において窒素をプラズマ励起させることを特徴とする。

【0011】請求項2記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、正負のパルス電圧を電極間に印加するため、各パルスの間が歯抜けの間欠信号となり、連続したサイン波の高周波電圧を印加するような場合と比較して、放電現象がコロナ放電とならず窒素をプラズマ励起しやすくなる。

【0012】請求項3記載の発明は、反応室内に設けられた種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させるIII-V族窒化物半導体の成長方法であって、反応室内に連続的に導入される窒素をプラズマ励起によって反応室の水素と反応させて窒素の水素化物を生成し、当該窒素の水素化物と反応室内で蒸発させられたIII族元素とを反応

させて種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させた後、III-V族窒化物半導体を成長させた際に生成された水素と、反応管内に連続的に導入される窒素と、をプラズマ励起によって反応させて窒素の水素化物を生成することを特徴とする。

【0013】請求項3記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、反応室内に連続的に導入される窒素をプラズマ励起によって反応室の水素と反応させてNH、NH<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>等の窒素の水素化物を生成する。一方、反応室内では、たとえばガリウムなどのIII族元素を蒸発させる。そして、窒素の水素化物と蒸発させられたIII族元素とが反応して、種結晶上に窒化ガリウムなどのIII-V族窒化物半導体が成長する。ここで、本発明では、窒素はNH<sub>X</sub> (X=1~3)等の水素化物として種結晶近傍まで拡散してIII族元素と反応するため、原子同士の結合力が大きい窒素分子の状態にあるときよりもIII族元素と反応し易くされており、さらに、閉管法を採用した場合と異なり反応室に反応量に等しい窒素を逐次導入することができるため、III-V族窒化物半導体の成長速度を高めることができる。

【0014】また、窒素の水素化物とIII族元素との反応によりIII-V族窒化物半導体を成長させた際に、III-V族窒化物半導体の成分でない水素が発生する。そして、この水素と反応室内に導入された窒素とをプラズマ励起によって反応させて再びNH等の窒素の水素化物を生成する。その後、かかる窒素の水素化物と蒸発させられたIII族元素とを反応させて、種結晶上にIII-V族窒化物半導体をさらに成長させることができる。すなわち、本発明においては、III-V族窒化物半導体の成分でない水素を反応室内で循環させて何度も利用するため、反応室の気体を外部に排出する必要がなくなり、原料収率の向上を図ることができる。

【0015】請求項4記載の発明は、請求項3記載のII-V族窒化物半導体の成長方法において、二つの電極間に正負のパルス電圧を交互に印加することで、各電極間ににおいて窒素と水素とをプラズマ励起によって反応させることを特徴とする。

【0016】請求項4記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、正負のパルス電圧を電極間に印加するため、各パルスの間が歯抜けの間欠信号となり、連続したサイン波の高周波電圧を印加するような場合と比較して、放電現象がコロナ放電とならず窒素と水素とをプラズマ励起によって反応させやすくなる。

【0017】請求項5記載の発明は、反応室内に設けられた種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させるIII-V族窒化物半導体の成長方法であって、反応室内に配置されたIII族元素とハロゲン分子またはハロゲン化物とを反応させてIII族元素のハロゲン化物を生成し、当該III族元素のハロゲン化物とプラズマ励起させた窒素とを反応させて種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させた

後、III-V族窒化物半導体を成長させた際に生成されたハロゲン分子またはハロゲン化物と、反応室内に配置されたIII族元素と、を反応させてIII族元素のハロゲン化物を生成することを特徴とする。

【0018】請求項5記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、反応室内に導入された窒素を励起してプラズマ状態にする一方、反応室内に配置されたガリウム等のIII族元素とC<sub>1</sub>等のハロゲン分子またはHC<sub>1</sub>等のハロゲン化物とを反応させて塩化ガリウム(GaC<sub>1</sub>)等のIII族元素のハロゲン化物を生成する。そして、プラズマ励起された窒素とIII族元素のハロゲン化物とを反応させることで、種結晶上にたとえば窒化ガリウムなどのIII-V族窒化物半導体を成長させることができる。ここで、窒素はプラズマ状態に励起されるため、原子同士の結合力が大きい窒素分子の状態にあるときよりもIII族元素と反応し易くされており、また、閉管法を採用した場合と異なり反応室に窒素を逐次導入することができるため、III-V族窒化物半導体の成長速度を高めることができる。さらに、Ga等のIII族元素は平衡蒸気圧の高いGaC<sub>1</sub>等のハロゲン化物として種結晶近傍まで輸送されるため、III族元素を蒸発させて種結晶近傍に到達させる場合よりも輸送速度は速くなり、III-V族窒化物半導体の成長速度を速くすることができる。

【0019】また、プラズマ励起された窒素とIII族元素のハロゲン化物との反応によりIII-V族窒化物半導体を成長させた際に、III-V族窒化物半導体の成分でないハロゲンがハロゲン分子またはハロゲン化物として発生する。そして、このハロゲン分子またはハロゲン化物と反応室内に配置されたガリウム等のIII族元素とが反応して、III族元素のハロゲン化物が再び生成される。その後、かかるIII族元素のハロゲン化物とプラズマ励起された窒素とを反応させて、種結晶上にIII-V族窒化物半導体をさらに成長させることができる。すなわち、本発明においては、III-V族窒化物半導体の成分でないハロゲンを反応室内で循環させて何度も利用するため、反応室の気体を外部に排出する必要がなくなり、原料収率の向上を図ることができる。

【0020】請求項6記載の発明は、請求項5記載のII-V族窒化物半導体の成長方法において、二つの電極間に正負のパルス電圧を交互に印加することで、各電極間ににおいて窒素をプラズマ励起させることを特徴とする。

【0021】請求項6記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、正負のパルス電圧を電極間に印加するため、各パルスの間が歯抜けの間欠信号となり、連続したサイン波の高周波電圧を印加するような場合と比較して、放電現象がコロナ放電とならず窒素をプラズマ励起しやすくなる。

【0022】請求項7記載の発明は、反応室内に設けられた種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させるIII-V

族窒化物半導体の成長方法であって、反応室内に導入される窒素と反応室内の水素とをプラズマ励起によって反応させて窒素の水素化物を生成するとともに反応室内に配置されたIII族元素とハロゲン分子またはハロゲン化物とを反応させてIII族元素のハロゲン化物を生成し、窒素の水素化物とIII族元素のハロゲン化物とを反応させて種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させた後、I II-V族窒化物半導体を成長させた際に生成されたハロゲン分子またはハロゲン化物と反応室内に配置されたIII族元素とを反応させてIII族元素のハロゲン化物を生成するとともに、III-V族窒化物半導体を成長させた際に生成された水素と窒素とをプラズマ励起によって反応させて窒素の水素化物を生成することを特徴とする。

【0023】請求項7記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、反応室内に導入された窒素と反応室内の水素とをプラズマ励起によって反応させてNH、NH<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>等の窒素の水素化物を生成するとともに、反応室内に配置されたIII族元素とC<sub>1</sub><sub>2</sub>等のハロゲン分子またはHC<sub>1</sub>等のハロゲン化物とを反応させてGaC<sub>1</sub>等のIII族元素のハロゲン化物を生成する。そして、窒素の水素化物とIII族元素のハロゲン化物とを反応させることで、種結晶上にたとえば窒化ガリウムなどのIII-V族窒化物半導体を成長させることができる。

【0024】ここで、窒素は水素化物として種結晶近傍まで拡散してIII族元素と反応するため、原子同士の結合力が大きい窒素分子の状態にあるときよりもIII族元素と反応し易くされており、さらに、閉管法を採用した場合と異なり反応室に反応量に等しい窒素を逐次導入することができるため、III-V族窒化物半導体の成長速度を高めることができる。さらに、Ga等のIII族元素は平衡蒸気圧の高いGaC<sub>1</sub>等のハロゲン化物として種結晶近傍まで輸送されるため、輸送速度は速くなり、III族元素を蒸発させて種結晶近傍に到達する場合よりもIII-V族窒化物半導体の成長速度を速くすることができる。

【0025】また、窒素の水素化物とIII族元素のハロゲン化物との反応によりIII-V族窒化物半導体を成長させた際に、III-V族窒化物半導体の成分でない水素が発生するとともに、ハロゲンがハロゲン分子またはハロゲン化物として発生する。そして、この水素と反応管内に導入された窒素とがプラズマ励起によって反応して、窒素の水素化物が再び生成されるとともに、ハロゲン分子またはハロゲン化物と反応室内に配置されたガリウム等のIII族元素とが反応して、III族元素のハロゲン化物が再び生成される。その後、このようにして生成された窒素の水素化物とIII族元素のハロゲン化物とを反応させて、種結晶上にIII-V族窒化物半導体をさらに成長させることができる。すなわち、本発明においては、III-V族窒化物半導体の成分でない水素とハロゲンとを反応室内で循環させて何度も利用することができるため、反応

室内の気体を外部に排出する必要がなくなり、原料収率の向上を図ることができる。

【0026】請求項8記載の発明は、請求項7記載のII I-V族窒化物半導体の成長方法において、二つの電極間に正負のパルス電圧を交互に印加することで、各電極間ににおいて窒素と水素とをプラズマ励起によって反応させることを特徴とする。

【0027】請求項8記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、正負のパルス電圧を電極間に印加するため、各パルスの間が歯抜けの間欠信号となり、連続したサイン波の高周波電圧を印加するような場合と比較して、放電現象がコロナ放電とならず窒素と水素とをプラズマ励起によって反応させやすくなる。

【0028】請求項9記載の発明は、請求項1～請求項8のうち何れか一項記載のIII-V族窒化物半導体の成長方法において、反応室の全圧が略一定に保たれるように、窒素を反応室内に導入することを特徴とする。

【0029】請求項9記載の発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法によれば、III-V族窒化物半導体の成長に伴って反応室の窒素の分圧が低下しても、これを補うように窒素が反応室に導入されるため、III-V族窒化物半導体を安定して成長させることができる。

【0030】請求項10記載の発明は、III-V族窒化物半導体を成長させる気相成長装置であって、III族元素を収容する収容容器が内部に配置されるとともに、窒素が導入される導入口を有する反応室と、導入口より導入された窒素をプラズマ励起する励起手段と、反応室内に配される種結晶および収容容器を加熱する加熱手段と、を備え、種結晶上にIII-V族窒化物半導体を成長させる際に、導入口より窒素が導入され、反応室の気体は、反応室の外部に排出されないことを特徴とする。

【0031】請求項10記載の発明に係る気相成長装置によれば、導入口より導入された窒素は、励起手段によってプラズマ状態に励起される。一方、収容容器に収容されたガリウム等のIII族元素は、加熱手段によって蒸発させられる。そして、プラズマ状態にされた窒素と蒸発させられたIII族元素とが反応することで、種結晶上にたとえば窒化ガリウムなどのIII-V族窒化物半導体を成長させることができる。ここで、本発明では、窒素は

プラズマ状態に励起されているため、原子同士の結合力が大きい窒素分子の状態にあるときよりもIII族元素と反応し易くされており、さらに、閉管法を採用した場合と異なり反応室に窒素を逐次導入することができるため、III-V族窒化物半導体の成長速度を高めることができる。また、本発明の成長方法で用いられる材料は、II I-V族窒化物半導体の成分であるIII族元素および窒素だけであるため、原料収率の向上を図ることができる。さらに、本発明では、III-V族窒化物半導体を成長させる際に反応室の気体は外部に排出されないが、成長中に反応室内に導入される窒素はすべてGaNの成長に使用

されるため、反応室内にGaNの成長に寄与しない気体が滞ることはない。

【0032】また、本発明に係る成長装置においてIII-V族窒化物半導体を成長させる際に、導入口より水素およびハロゲン(Cl<sub>2</sub>等のハロゲン分子またはHCl等のハロゲン化物)を所定量だけ導入してもよい。この場合、導入口より反応室内に導入された窒素を励起手段によってプラズマ励起し、さらに水素と反応させてNH、NH<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>等の窒素の水素化物を生成するとともに、収容容器に収容されたIII族元素とハロゲン分子またはハロゲン化物とを反応させてGaN等のIII族元素のハロゲン化物を生成する。そして、窒素の水素化物とII族元素のハロゲン化物とを反応させることで、種結晶上にたとえば窒化ガリウムなどのIII-V族窒化物半導体を成長させることができる。

【0033】ここで、窒素はNH等の水素化物として種結晶近傍まで拡散してIII族元素と反応するため、原子同士の結合力が大きい窒素分子の状態にあるときよりもIII族元素と反応し易くされており、さらに、閉管法を採用した場合と異なりIII-V族窒化物半導体を成長させる際に反応室に反応量に等しい窒素が導入されているため、成長速度を高めることができる。さらに、GaN等のIII族元素はGaN等のハロゲン化物として種結晶近傍まで輸送されるため、III族元素を蒸発させて種結晶近傍に到達させる場合よりもIII-V族窒化物半導体の成長速度を速くすることができる。

【0034】また、窒素の水素化物とIII族元素のハロゲン化物との反応によりIII-V族窒化物半導体を成長させた際に、III-V族窒化物半導体の成分でない水素が発生するとともに、ハロゲンがハロゲン分子またはハロゲン化物として発生する。これらの水素およびハロゲン分子またはハロゲン化物は、III-V族窒化物半導体を成長させる際に、反応室の外部に排出されない。そして、水素と窒素とがプラズマ励起によって反応して、窒素の水素化物が再び生成するとともに、ハロゲン分子またはハロゲン化物と反応室内に配置されたガリウム等のIII族元素とが反応して、III族元素のハロゲン化物が再び生成される。その後、このようにして生成された窒素の水素化物とIII族元素のハロゲン化物とが反応して、種結晶上にIII-V族窒化物半導体がさらに成長する。すなわち、III-V族窒化物半導体の成分でない水素とハロゲンとを反応室内で循環させて何度も利用することができるため、原料収率の向上を図ることができる。

【0035】請求項11記載の発明は、請求項10記載の気相成長装置において、励起手段は、二つの電極と、当該各電極間に正負のパルス電圧を交互に印加する高周波電源と、を有することを特徴とする。

【0036】請求項11記載の発明に係る気相成長装置によれば、高周波電源によって正負のパルス電圧を電極間に印加するため、各パルスの間が歯抜けの間欠信号と

なり、連続したサイン波の高周波電圧を印加するような場合と比較して、放電現象がコロナ放電とならず窒素をプラズマ励起しやすくなる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法およびIII-V族窒化物半導体の成長装置の好適な実施形態について詳細に説明する。尚、同一要素には同一符号を用いるものとし、重複する説明は省略する。

10 【0038】【第1実施形態】図1は、本実施形態に係るIII-V族窒化物半導体を成長させる気相成長装置1を示す図である。本実施形態の気相成長装置1は、石英製の反応管(反応室)3内の種結晶支持台5によって支持されたサファイアからなる種結晶10上に、III-V族窒化物半導体である窒化ガリウム(GaN)を成長させるために用いられるものである。同図に示すように、反応管3の上面には、窒素(N<sub>2</sub>)が導入される導入口7を有する導入ポート9が形成され、反応管3の内部には、III族(3B族)元素であるガリウム(Ga)を収容する収容容器11が配置されている。さらに、反応管3の周囲には、収容容器11内のGaNおよび種結晶10の近傍を加熱するヒータ13が設けられている。また、種結晶10の径方向の温度均一性を高めるために、反応管3は縦型炉としている。さらに、反応管3は、導入口7を介してのみ外部との気体の流通を図れるように構成されている。

20 【0039】また、気相成長装置1には、導入ポート9に流入された窒素を励起してプラズマ状態にする励起装置15が備えられている。励起装置15は、周波数2.45GHzのマイクロ波を発生する発振器17と、発振器17からのマイクロ波が内部を進む導波管19と、から構成されており、マイクロ波を導入ポート9に導くために、導入ポート9は導波管19を貫通している。

30 【0040】さらに、気相成長装置1には、内部の圧力を測定する圧力計21が備えられており、図示を省略する制御装置の制御もと、圧力計21によって測定された反応管3内の圧力に応じた流量の窒素が、導入ポート9を介して反応管3内に導入される。

【0041】次に、図1を参照しながら、気相成長装置40 1によってGaNを成長させる方法を説明する。

【0042】導入ポート9より窒素を導入する前に、まず、ヒータ13を作動させて、種結晶10近傍の温度を約1000°Cとし、GaNの収容容器11の温度を約1100°Cとする。これにより、収容容器11内のGaNは蒸発させられる。また、発振器17を作動させて2.45GHzのマイクロ波を発生させるが、このマイクロ波は、導波管19内で定常波となる。

【0043】次いで、導入口7から、全圧約10Pa～約4000Paで、気体の標準状態に換算した流量を1.5×10<sup>-3</sup>l/m<sup>2</sup>程度にして窒素を反応管3内に導入

し始める。窒素は、GaNの成長を終了するまで反応管3内に供給され続けることになる。また、導入ポート9を通過する窒素は、導波管19内を進行するマイクロ波によって励起されてプラズマ状態となる。プラズマ状態にある窒素としては、原子状、分子状など様々な状態ものがあるが、以下において、便宜上これらを総称して窒素プラズマとする。また、窒素プラズマのうちN<sup>+</sup>（窒素ラジカル）のみを図示し、N<sub>2</sub><sup>+</sup>、N<sub>2</sub><sup>-</sup>等のイオン状のプラズマの図示は省略した。

【0044】蒸発させられたGaNおよび窒素プラズマは、それぞれ拡散して種結晶10の近傍に到達し、両者が反応することで、種結晶10上にGaN層20を成長させることができる。なお、GaN層20の成長に伴って反応管3内の窒素の分圧が低下しそうになるが、これを補うように図示を省略する制御装置が圧力計21からの圧力データに基づいて導入ポート9へ導入する窒素の流量を定めるため、反応管3内の全圧を略一定に維持することができる。このため、GaN層20を安定して成長させることができる。

【0045】ここで、本実施形態では、反応管3内の窒素は反応性の高いプラズマ状態に励起されているため、原子同士の結合力が大きい窒素分子（N<sub>2</sub>）の状態にあるときよりもGaNと反応し易くされており、さらに、閉管法を採用した場合と異なり反応管3に窒素を逐次導入することができるため、GaN層20の成長速度を高めることができる。なお、本発明者らの実験により、窒素をプラズマ状態に励起しなかった場合のGaN層の成長速度は1μm/時間以下であったが、本実施形態の方法によれば、成長速度が約100μm/時間となることが判明した。また、本実施形態では、GaNの原材料としてGaN層20の成分であるGaNおよび窒素のみが用いられるため、ハイドライド気相成長法および有機金属気相成長法に採用される閉管法のように反応管3内の気体を外部に排出する必要がなくなり、原料収率の向上を図ることができる。なお、本発明者らが実験したところ、反応管3内に導入した窒素の殆どが結晶成長に寄与し、原料収率は80%以上であった。

【0046】以上のようにして成長させたGaNを基板としてAlGaN層、InGaN層などを積層することで、青色LED等を作製することができ、さらに、このような青色LEDのチップ表面にYAG系蛍光体をコーティングすることで、白色LEDを実現することができる。

【0047】【第2実施形態】次に、図2を参照しながら、本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法の第2実施形態を説明する。本実施形態では、第1実施形態と同様の気相成長装置1を用いる。

【0048】本実施形態の成長方法によってGaN層20を成長させるには、まず、導入ポート9を介して反応管3内に窒素（N<sub>2</sub>）を導入し始め、次いで、水素

（H<sub>2</sub>）を所定量だけ導入する。窒素は、GaNの成長を終了するまで反応管3内に供給され続けることになる。続いて、第1実施形態と同様に、収容容器11内のGaNを蒸発させるとともに、導入口7より導入された窒素を励起して窒素プラズマとする。すると、図2に示すように、窒素プラズマと水素とが反応して、NH<sub>x</sub>（X=1, 2, 3）、そのイオン、及びこれらのプラズマ状態のもの等が生成される。以下、これらをNH<sub>x</sub>と記す。なお、反応管3内の水素が導入ポートに流れ込んで、プラズマ状態にされている場合もあるが、本実施形態の「窒素プラズマと水素との反応」とは、このようにして生成された水素プラズマと窒素プラズマとが反応する場合を含む意である。

【0049】そして、種結晶10の近傍に到達したNH<sub>x</sub>と蒸発させられたGaNとが反応して、種結晶10上にGaN層20が成長する。ここで、本実施形態では、窒素は水素化物として種結晶10の拡散して流れでGaNと反応するため、原子同士の結合力が大きい窒素分子（N<sub>2</sub>）の状態にあるときよりもGaNと反応し易くされており、さらに、閉管法を採用した場合と異なり反応管3内に窒素を逐次導入することができるため、GaN層20の成長速度を高めることができる。実際に、水素の導入量を反応管3内の全気体の30%として実験を行ったところ、GaN層20の成長速度は約150μm/時間であった。

【0050】また、NH<sub>x</sub>とGaNとの反応によりGaN層20を成長させた際に、GaNの成分でない水素（H<sub>2</sub>）が発生する。本実施形態の気相成長装置1には排出出口が設けられていないため、この水素は外部に排出されない。そして、この水素（H<sub>2</sub>）と導入ポート9を経て新たに反応管3内に供給された窒素プラズマとを反応させて、再び窒素の水素化物およびそのイオンを生成する。その後、このようにして生成されたNH<sub>x</sub>と蒸発させられたGaNとが反応してGaNが生成され、種結晶10上のGaN層20をさらに厚くすることができる。すなわち、本実施形態においては、GaNの成分でない水素（H<sub>2</sub>）を反応管3内で循環させて何度も利用することができるため、反応管3内の気体を外部に排出する必要がなくなり、原料収率の向上を図ることができる。実際に、本実施形態の方法によってGaN層を成長させたところ、原料収率は約80%であった。

【0051】なお、GaN層20の成長に伴って反応管3内の窒素の分圧が低下しそうになるが、第1実施形態と同様に、これを補うように図示を省略する制御装置が圧力計21からの圧力データに基づいて導入ポート9へ導入する窒素の流量を定めるため、反応管3内の全圧を略一定に維持することができる。このため、GaN層20を安定して成長させることができる。

【0052】【第3実施形態】次に、図3を参照しながら、本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法の第

3実施形態を説明する。本実施形態では、上記各実施形態と同様の気相成長装置1を用いる。

【0053】まず、導入口7より導入された窒素を励起して窒素プラズマとするとともに、ヒータ13を作動させてGaを蒸発させる。窒素は、GaNの成長が終了するまで、反応管3内に導入され続ける。次いで、導入口7より反応管3内にハロゲン化物である塩化水素(HCl)を分圧10Pa～500Paで所定量だけ導入する。すると、分圧の影響で反応管3の底部に流れたHClが収容容器11内のGaと反応し、III族元素のハロゲン化物である塩化ガリウム(GaCl)と水素(H<sub>2</sub>)とが生成される。さらに、GaClおよびH<sub>2</sub>は、収容容器11の近傍と種結晶10の近傍との蒸気圧差によって種結晶10に到達する。そして、上記の窒素プラズマとGaClとが反応することで、種結晶10上にIII-V族窒化物半導体であるGaN層20が成長する。

【0054】ここで、本実施形態では、窒素は励起されて窒素プラズマとされているため、原子同士の結合力が大きい窒素分子(N<sub>2</sub>)の状態にあるときよりもGaと反応し易くされており、また、閉管法を採用した場合と異なり反応管3に窒素を逐次導入することができるため、GaN層20の成長速度を高めることができる。さらに、Gaはハロゲン化物である平衡蒸気圧の高いGaClとして種結晶10の近傍まで輸送されるため、第1実施形態および第2実施形態のようにGaを蒸発させて種結晶10近傍に到達させる場合よりも輸送速度は速くなり、GaN層20の成長速度を速くすることができる。実際に、HClの導入量を反応管3内の全気体の10%として実験を行ったところ、GaN層20の成長速度は約160μm/時間であった。

【0055】また、窒素プラズマとGaClとの反応によりGaN層20を成長させた際に生成されたGaNの成分でないハロゲン(C1)と、導入口7より導入された水素(H<sub>2</sub>)またはGaClが生成される際に同時に発生した水素(H<sub>2</sub>)とが反応して、塩化水素(HCl)が生成される。なお、塩素が水素と反応せず、ハロゲン分子(C1<sub>2</sub>)として生成される場合もある。本実施形態の気相成長装置1には排出口が設けられていないため、これらのHClやC1<sub>2</sub>は外部に排出されない。そして、この塩化水素(HCl)または塩素(C1<sub>2</sub>)と反応管3内に配置されたGaとが反応して、GaClが再び生成される。その後、このGaClと窒素プラズマとを反応させて、種結晶10上のGaN層20をさらに厚くすることができる。すなわち、本実施形態においては、GaNの成分でないハロゲン(C1)を反応管3内で循環させて何度も利用することができるため、反応管3内の気体を外部に排出する必要がなくなり、原料収率の向上を図ることができる。

【0056】なお、本実施形態において、反応管3内を

循環させるハロゲンとして、C1のほか、Br、I等を用いてよい。また、反応管3内に塩化水素(HCl)を導入する代わりに、ハロゲン分子として塩素(C1<sub>2</sub>)、臭素(Br<sub>2</sub>)、ヨウ素(I<sub>2</sub>)等を導入してもよい。

【0057】また、GaN層20の成長に伴って反応管3内の窒素の分圧が低下しそうになるが、上記各実施形態と同様に、これを補うように図示を省略する制御装置が圧力計21からの圧力データに基づいて導入ポート9へ導入する窒素の流量を定めるため、反応管3内の全圧を略一定に保つことができる。このため、GaN層20を安定して成長させることができる。

【0058】【第4実施形態】次に、図4を参照しながら、本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法の第4実施形態を説明する。本実施形態では、上記各実施形態と同様の気相成長装置1を用いる。

【0059】本実施形態の成長方法によってGaN層20を成長させるには、まず、導入ポート9を介して反応管3内に窒素(N<sub>2</sub>)を導入し始め、続いて、第3実施形態と同様に塩化水素(HCl)および水素(H<sub>2</sub>)を所定量だけ導入する。窒素は、GaNの成長を終了するまで反応管3内に供給され続けることになる。次いで、収容容器11内のGaを蒸発させるとともに、導入口7より導入された窒素を励起して窒素プラズマとする。すると、図4に示すように、窒素プラズマと水素(H<sub>2</sub>)とが反応して、NH<sub>x</sub>が生成される。また、分圧の影響で反応管3の底部に流れたHClが収容容器11内のGaと反応し、III族元素のハロゲン化物である塩化ガリウム(GaCl)と水素(H<sub>2</sub>)とが生成される(このときの水素の流れは、図示を省略する)。

【0060】上述のようにして生成されたGaClおよびNH<sub>x</sub>は、収容容器11の近傍と種結晶10の近傍との蒸気圧差によって種結晶10に到達する。そして、GaClとNH<sub>x</sub>とが反応することで、種結晶10上にIII-V族窒化物半導体であるGaN層20が成長する。

【0061】ここで、窒素は水素化物であるNH<sub>x</sub>として種結晶10近傍まで流れてGaと反応するため、原子同士の結合力が大きい窒素分子(N<sub>2</sub>)の状態にあるときよりもガリウムと反応し易くされており、さらに、閉管法を採用した場合と異なり反応管3に窒素を逐次導入することができるため、GaN層20の成長速度を高めることができる。さらに、Gaはハロゲン化物である平衡蒸気圧の高いGaClとして種結晶10の近傍まで輸送されるため、Gaを蒸発させて種結晶10近傍に到達させる場合よりも輸送速度は速くなり、GaN層20の成長速度を速くすることができる。実際に、反応管3内の全気体に対する水素の導入量を50%とし、HClの導入量を10%として実験を行ったところ、GaN層20の成長速度は約200μm/時間であった。

【0062】また、GaClとNH<sub>x</sub>との反応によりG

a N層20を成長させた際に、GaNの成分でない水素(H<sub>2</sub>)と、ハロゲン化物である塩化水素(HCl)とが生成される。なお、塩素が水素と反応せず、ハロゲン分子(Cl<sub>2</sub>)として生成される場合もある。本実施形態の気相成長装置1には排出口が設けられていないため、これらのH<sub>2</sub>、HCl等は外部に排出されない。そして、このようにして発生した水素(H<sub>2</sub>)と導入ポート9を経て新たに反応管3内に供給された窒素プラズマとが反応して、再びNH<sub>3</sub>が生成される。一方、塩化水素(HCl)または塩素(Cl<sub>2</sub>)と収容容器11に収容されたGaNとが反応して、GaNClが再び生成される。

【0063】その後、このようにして再び生成されたGaNClとNH<sub>3</sub>とを反応させて、種結晶10上のGaN層20をさらに厚くすることができる。すなわち、本実施形態においては、GaNの成分でない水素(H<sub>2</sub>)とハロゲン(Cl<sub>2</sub>)を反応管3内で循環させて何度も利用することができるため、反応管3内の気体を外部に排出する必要がなくなり、原料収率の向上を図ることができる。実際に、本実施形態の方法によってGaN層を成長させたところ、原料収率は80%以上であった。

【0064】なお、本実施形態においても、第3実施形態と同様に、反応管3内を循環させるハロゲンとして、Clのほか、Br、I等を用いてよい。また、反応管3内に塩化水素(HCl)を導入する代わりに、ハロゲン分子として塩素(Cl<sub>2</sub>)、臭素(Br<sub>2</sub>)、ヨウ素(I<sub>2</sub>)等を導入してもよい。

【0065】また、GaN層20の成長に伴って反応管3内の窒素の分圧が低下しそうになるが、上記各実施形態と同様に、これを補うように図示を省略する制御装置が圧力計21からの圧力データに基づいて導入ポート9へ導入する窒素の流量を定めるため、反応管3内の全圧を略一定に維持することができる。このため、GaN層20の単結晶化歩留が向上し、安定して成長することができる。

【0066】【第5実施形態】次に、図5を参照して、本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法の第5実施形態を説明する。本実施形態が第1実施形態と異なるのは、窒素を励起してプラズマ状態にするための励起装置の構成にある。本実施形態の気相成長装置1の励起装置35は、反応管23を囲うように対向配置されると共に平板を湾曲させた形状をなす2枚の電極30、30と、この電極30、30間に高周波高電圧を印加するための高周波電源40と、を備えている。

【0067】本実施形態で使用する反応管23は、略円柱形状をなしており、その上面中央には、内部に窒素を導入するための導入管25が挿通されている。また、反応管23の下部周囲には、第1実施形態と同様のヒータ13が設けられている。なお、図示は省略するが、反応管23の内部には第1実施形態と同様に種結晶10及び

GaNを収容する収容容器11が配されている(図1参照)。

【0068】図6は、高周波電源40によって電極30、30間に印加される電圧を示すグラフである。同グラフに示すように、電極30、30には、高周波電源40によって正負のパルス電圧が交互に印加される。また、各パルスの間は歯抜けとされて、いわゆる間欠信号となっている。さらに、立ち上がり時間t<sub>1</sub>及び立ち下がり時間t<sub>2</sub>はともに1.25μsecと比較的短くされ、周波数は1kHz～100kHzの範囲で可変される。また、正のパルス電圧と負のパルス電圧はそれぞれ+8kV、-12kVとされ、正負のパルス信号は非対称な波形となっている。

【0069】このような構成のもと、種結晶10上にGaN層を成長させるには、まず、ヒータ13を第1実施形態と同様な条件で温度設定することでGaNを蒸発させ、次いで、導入管25から反応管23内に窒素を導入する。窒素は、GaNの成長を終了するまで反応管23内に供給され続ける。また、導入管25から反応管23へ導入されて電極30、30間に到達した窒素は、高周波電源40によって印加される高周波高電圧によって励起され、窒素プラズマとなる。

【0070】ここで、本実施形態では、連続した正弦波の高周波電圧を電極間に印加するような従来の技術と異なり、各パルスの間を歯抜けとした正負のパルス電圧を印加する電源を用いるため、放電現象がコロナ放電とならず窒素を窒素プラズマにしやすい。また、パルス信号の立ち上がり速度が速いため、単位面積当たりの電界強度が強くなり、窒素が励起されて窒素プラズマになりやすい。

【0071】さらに、電極30、30の間に位置する反応管23は誘電体である石英によって形成されているため、電極30、30間に電界を均一に生じさせることができる。これにより、異常放電を防止でき、より安定且つ効果的にプラズマを発生させることができる。

【0072】また、プラズマ放電させる技術として、従来から低圧下で不活性ガスを使う手法があるが、本実施形態の高周波電源40を使用すれば、常圧においてもプラズマを発生させることができる。

【0073】さらに、第1実施形態のようにマイクロ波を使用する場合は、導入ポート9からマイクロ波が漏れないように導入ポート9のサイズを小さくする必要があり、反応管23の設計、製作に手間がかかったが、本実施形態においては導入管25を所望のサイズにすることができる、反応管23の設計、製作が容易になる。

【0074】また、プラズマは主に電極30、30間に発生するが、RF、ECR、マイクロ波など形状を変えていく他のプラズマ発生手段に比べて、本実施形態の励起装置35は、図5及び以下に説明する図7～図9のように電極形状を自由に変えることができるため、種結晶

を所望の場所に配置した上でその近傍にプラズマを発生させられるという利点がある。

【0075】そして、以上のようにして励起された窒素プラズマと蒸発されたGaNとは、それぞれ拡散して種結晶10の近傍に到達し、両者が反応することで種結晶10上にGaN層20を成長させることができる。

【0076】次に、図7～図9を参照して、本実施形態の変形例を説明する。図7に示す第1の変形例では、反応管23の上面に1本の棒状電極30aを挿通させ、反応管23の上部周囲に環状電極30bを配置し、棒状電極30aと環状電極30bとに高周波電源40が接続されている。また、棒状電極30aは、誘電部材50aによって覆われている。このような構成としても、第5実施形態と同様に、導入管25から導入されて棒状電極30aと環状電極30bとの間に到達した窒素を、容易にプラズマにすることができる。また、棒状電極30aと環状電極30bとの間には誘電部材50aが配されているため、棒状電極30aと環状電極30bとの間に電界を均一に生じさせることができる。これにより、異常放電を防止でき、より安定且つ効果的にプラズマを発生させることができる。

【0077】図8に示す第2の変形例では、反応管23の上面から2枚の平板電極30c、30cを平行に挿通させ、各平板電極30c、30cに高周波電源40が接続されている。また、各平板電極30c、30cの対向面側には、平板誘電部材50bが取り付けられている。このような構成としても、第5実施形態と同様に、導入管25から導入されて平板電極30c、30cの間に到達した窒素を、容易に窒素プラズマにすることができる。また、各平板電極30c、30cの間には平板誘電部材50bが配されているため、平板電極30c、30cの間に電界を均一に生じさせることができる。これにより、異常放電を防止でき、より安定且つ効果的にプラズマを発生させることができる。

【0078】図9に示す第3の変形例では、反応管23の上面から円筒状の支持棒27が挿通され、当該支持棒27の下端に円板電極30dが取り付けられている。この円板電極30dの下面には、種結晶10が取り付けられている。さらに、本変形例では、収容容器11を円板電極30dと対向配置させ、円板電極30dと収容容器11内のGaNとが高周波電源40に電気的に接続されている。すなわち、収容容器11内のGaNが、電極として使用されている。このような構成としても、第5実施形態と同様に、導入管25から導入されて円板電極30dと収容容器11との間に到達した窒素を、容易にプラズマにすることができる。なお、本変形例では、種結晶1

0の下方にGaN層20が成長することになる。

【0079】また、第5実施形態は、第1実施形態において二つの電極間に高周波高電圧を印加することでプラズマを発生させるようにしたものであるが、この他、第2実施形態～第4実施形態に適用することができる。第3実施形態に第5実施形態の技術を適用した場合は、窒素を容易にプラズマにすることができ、第2実施形態及び第4実施形態に適用した場合は、窒素と水素とをプラズマ励起によって容易に反応させることができる。

【0080】以上、本発明者らによってなされた発明を実施形態に基づき具体的に説明したが、本発明は上記各実施形態に限定されるものではない。例えば、本発明のIII-V族半導体成長装置によれば、III族元素としてアルミニウム(A1)やインジウム(In)等を用いることにより、GaNのほか、AlN、InN等のIII-V族窒化物を成長させることができる。

#### 【0081】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法および気相成長装置によれば、原料収率を高くできるとともに、成長速度を速くすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法および気相成長装置の第1実施形態の説明図である。

【図2】本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法の第2実施形態を説明するために用いた図である。

【図3】本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法の第3実施形態を説明するために用いた図である。

【図4】本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法の第4実施形態を説明するために用いた図である。

【図5】本発明に係るIII-V族窒化物半導体の成長方法の第5実施形態を説明するために用いた図である。

【図6】図5に示す高周波電源によって電極間に印加される電圧を示すグラフである。

【図7】第5実施形態の第1の変形例を示す図である。

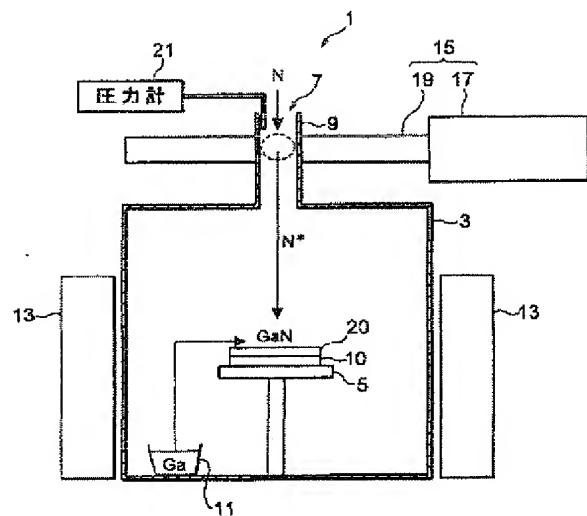
【図8】第5実施形態の第2の変形例を示す図である。

【図9】第5実施形態の第3の変形例を示す図である。

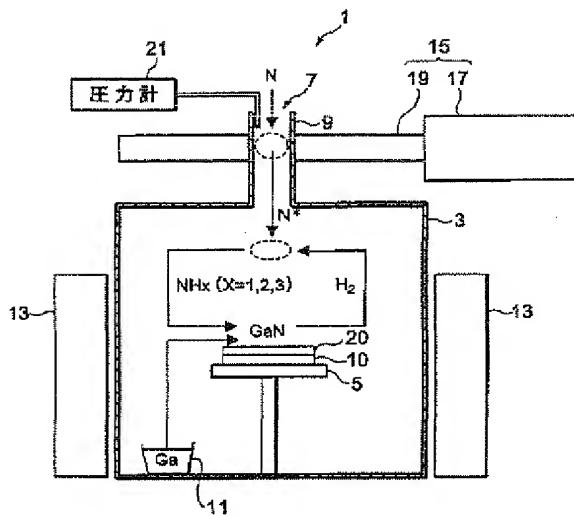
#### 【符号の説明】

1…気相成長装置、3、23…反応管(反応室)、5…種結晶支持台(基板ホルダ)、7…導入口、9…導入ポート、10…種結晶、11…収容容器、13…ヒータ(加熱手段)、15、35…励起装置(励起手段)、17…発振器、19…導波管、21…圧力計、25…導入管、30…電極、30a…棒状電極、30b…環状電極、30c…平板電極、30d…円板電極、40…高周波電源、50a…誘電部材、50b…平板誘電部材。

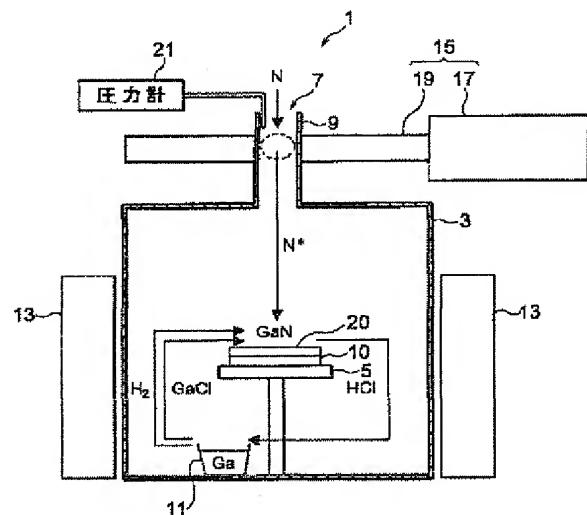
【図1】



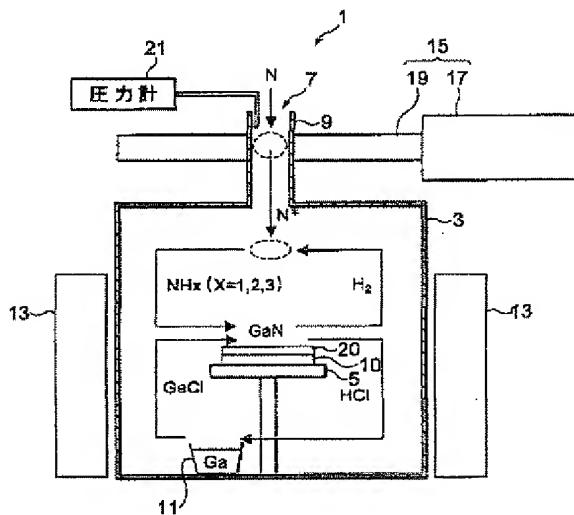
【図2】



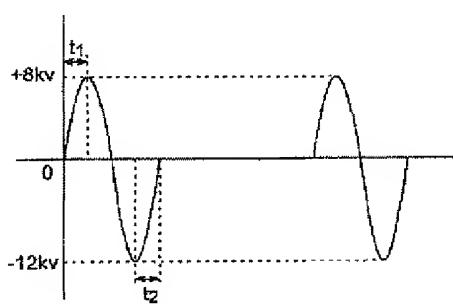
【図3】



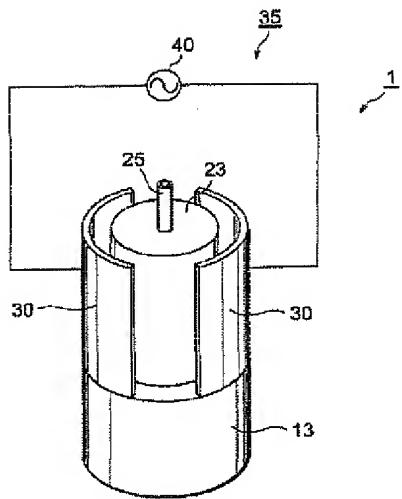
【図4】



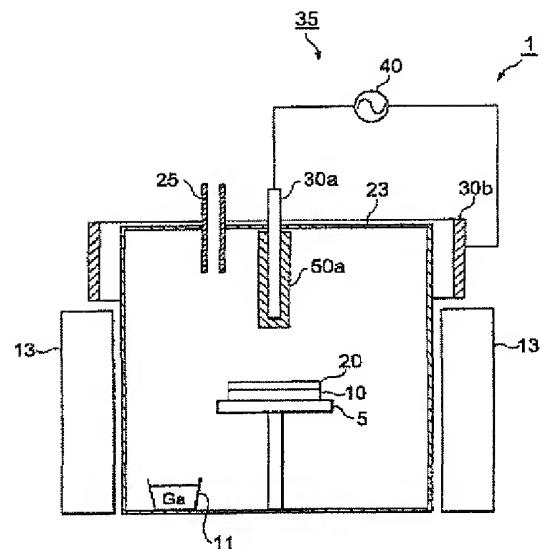
【図6】



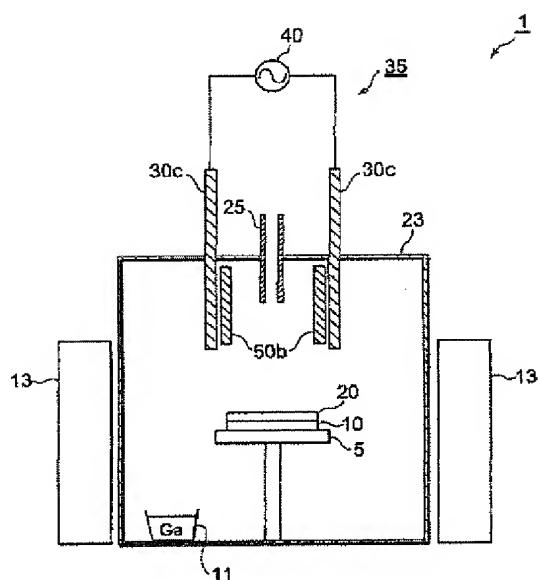
【図5】



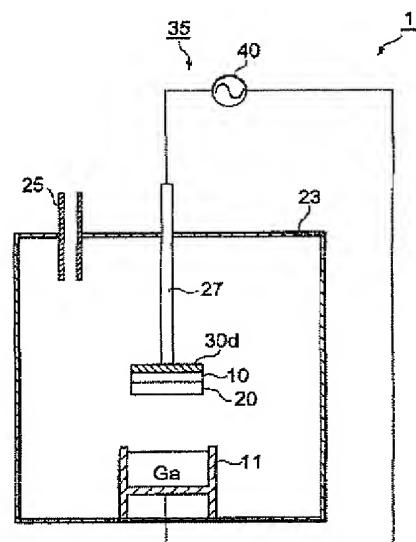
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4G077 AAC3 BE11 BE15 DB04 DB05  
DB16 EG30  
5F041 AA12 AA31 CA34 CA40 CA46  
CA67 DA41 EE25  
5F045 AA08 AB14 AB17 AC03 AC15  
AE23 AE25 AF04 BB09 CA11  
DP03 EB02 EH03 EH18 EK06